

Teresa L. Nowak

## STANOWISKO DO BADAŃ OPORNOŚCI HYDRAULICZNEJ RUR PERFOROWANYCH SZCZELINOWO

W ostatnich latach dużym zainteresowaniem ciszą się ujęcia promienne wody infiltracyjnej i gruntowej. Zbudowane są one ze studni zbiorczej oraz z kilku lub kilkunastu poziomych, częściowo perforowanych zbieraczy. Dopływ wody do studni zbiorczej spowodowany jest obniżeniem jej poziomu w studni w stosunku do poziomu hydrostatycznego, zwanym depresją pozorną  $s_p$  (rysunek nr 1).

Depresja ta stanowi sumę:

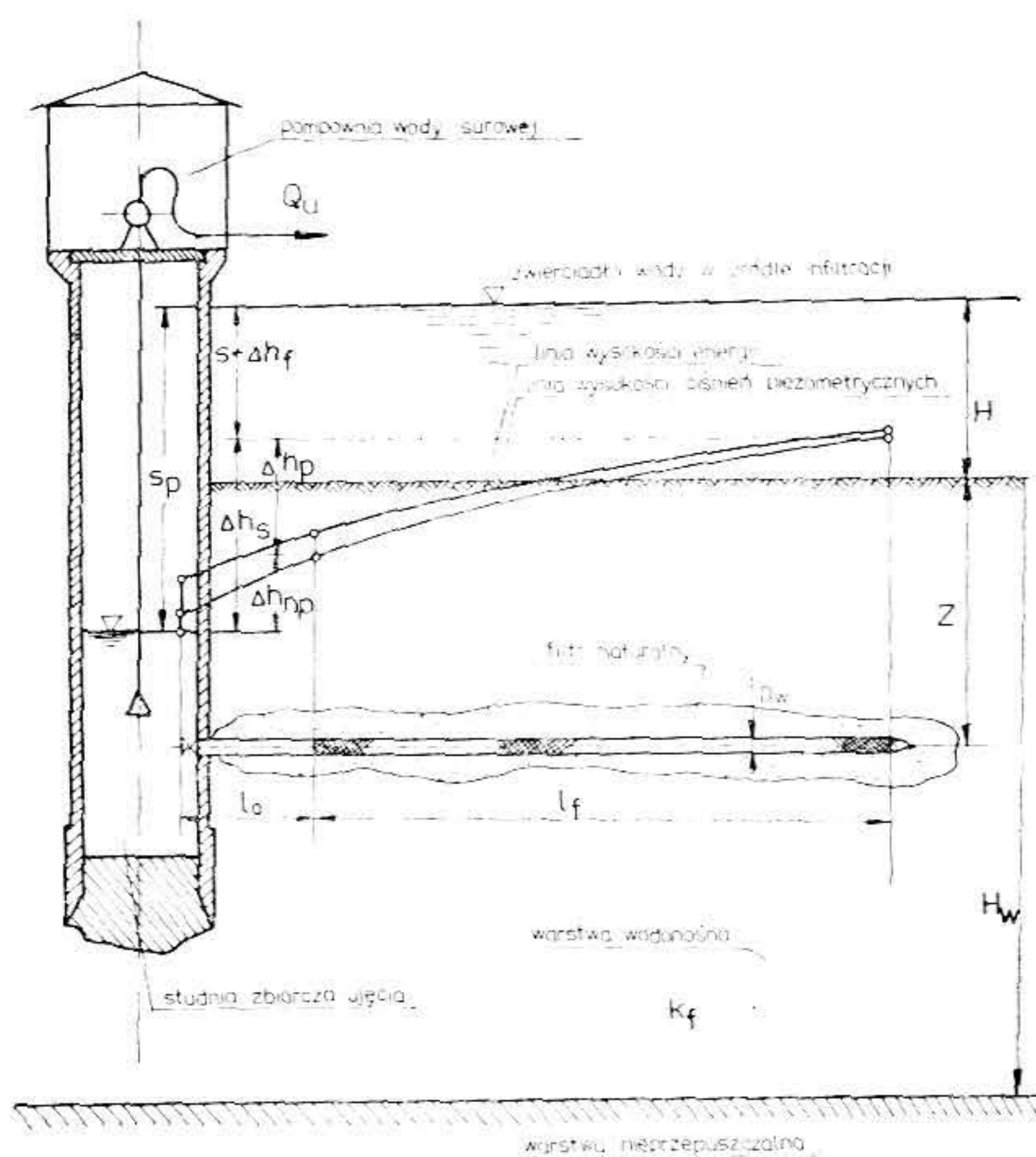
- 1) depresji rzeczywistej  $s$  odniesionej do zewnętrznego obrysu naturalnego filtru wytworzonego wokół zbieracza,
- 2) wysokości strat hydraulicznych  $\Delta h_f$  powstałych podczas przepływu wody przez naturalny filtr wytworzony wokół zbieracza,
- 3) wysokości strat energii  $\Delta h_s$  powstałych podczas ruchu wody wewnątrz pełnościennej i perforowanej części zbieracza.

Wśród zalet takiego ujęcia wymienić można:

- dużą wydajność ujęcia zastępującego 10÷20 pojedynczych studni wierconych,
- długość części perforowanej pojedynczego zbieracza, osiągającą nawet 120 m,
- lepszą jakość wody w porównaniu z wodą powierzchniową,
- niższe koszty budowy i eksploatacji w porównaniu z innymi typami ujęć.

Wydawać by się mogło, że w Polsce powinny być budowane tylko takie typy ujęć, jednak do 1980 roku działało ich tylko 18. Przyczyny takiej sytuacji należy szukać w braku zaufania do dotychczas stosowanych wzorów na obliczanie wydajności ujęć, ponieważ w trakcie eksploatacji nie osiąga się przewidywanych ilości wody. Brak jest też w kraju wyspecjalizowanych przedsiębiorstw wykonawczych, które podjęłyby się budowy takich ujęć.

Dotychczas stosowane metody wyznaczania wydajności  $Q_u$  ujęcia promienistego uzależniały  $Q_u$  od depresji rzeczywistej  $s$ , natomiast zupełnie



Rys. 1. Schemat ujęcia promienistego w warunkach infiltracji

pomijały straty występujące przy przepływie wody przez warstwę wodonośną i perforowany zbieracz. Kotowski [1] podał nową formułę uzależniającą już wydajność  $Q_u$  od depresji pozornej  $s_p$ :

$$Q_u = 28,351 \cdot k_f r_o^{0,814} l_f^{0,454} n^{0,866} z^{-0,18} H_w^{0,176} s_p^{0,763} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (1)$$

gdzie:

$k_f$  — współczynnik filtracji złoża, m/s,

$n$  — liczba zbieraczy,

$l_f$  — długość części perforowanej zbieracza,

$r_o$  — wewnętrzny promień zbieracza, m,

$z$  — zagłębienie zbieracza pod dnem źródła infiltracji, m,

$H_w$  — miąższość warstwy wodonośnej, m,

$s_p$  — depresja pozorna w studni zbiorczej, m,

$$s_p = s + \Delta h_f + \Delta h_s$$

Dokładność stosowania tej metody jest największa w następujących granicach parametrów:



$$\begin{aligned}
 l_f/r_o & \in < 101,01 ; 505,05 > \\
 z/r_o & \in < 24,24 ; 96,97 > \\
 H_w/r_o & \in < 72,73 ; 121,21 > \\
 s_p/r_o & \in < 16,16 ; 48,43 > \\
 n & \in < 4 ; 12 >
 \end{aligned}$$

Ocena wartości  $\Delta h_f$  jest bardzo trudna, ponieważ stanowi ją suma wysokości strat hydraulicznych wynikających z:

- przepływu wody przez granice warstwy wodonośnej i filtru naturalnego, filtru naturalnego i rury perforowanej,
- przepływu wody przez strefę filtru naturalnego i przez otwory w ścianie perforowanej.

Oprócz tego w trakcie eksploatacji występują procesy cementacji (kolmatacji) strefy przyfiltrowej oraz zarastanie otworów wlotowych do zbieracza. Wielu autorów zaleca posługiwanie się wzorem Abramowa:

$$\Delta h_f = 0,01 \cdot a_e \sqrt{\frac{s_p \cdot Q_u}{d_f \cdot n \cdot l_f \cdot k_f \cdot \pi}} \quad , \text{ m} \quad (2)$$

w którym:

$a_e$  — współczynnik empiryczny,  $a_e = 9 \div 15$

$d_f$  — średnica filtru naturalnego, m

$$d_f = 2r_o + 2\delta + (0,08 \div 0,20)$$

gdzie  $\delta$  jest grubością rury perforowanej, m.

Na wielkość wysokości strat  $\Delta h_s$  składają się następujące czynniki:

- długość zbieracza,
- stopień przepuszczalności ścianek  $\varphi$ , mierzony stosunkiem powierzchni wszystkich otworów do wewnętrznej powierzchni ścianki zbieracza (może osiągnąć nawet 30%),
- boczny dopływ wody przez otwory w ściance, powodujący zmianę masy głównego strumienia cieczy.

Szczegółowe badania strat hydraulicznych  $h_s$  przeprowadził Siwoń [2] i otrzymał dla przepływu w strefie ruchu burzliwego zależność:

$$\begin{aligned}
 \Delta h_s = & \frac{(1 + \eta_p)}{2g} \alpha_o (v^2 - v_p^2) + \frac{\lambda_p l_f}{2g D_w} \left( v_p^2 + \frac{(2v_p v - v_p^2)}{m + 1} + \right. \\
 & \left. + \frac{(v - v_p)^2}{2m + 1} \right) + \left( 1 + \lambda_o \frac{l_o}{D_w} \right) \frac{v^2}{2g} \quad , \text{ m} \quad (3)
 \end{aligned}$$

gdzie:

- $\eta_p$  — współczynnik korekcyjny, uwzględniający łączny wpływ nieciągłości bocznego dopływu oraz wpływ kąta zawartego między dopływającymi strugami cieczy a osią głównego strumienia; dla  $\varphi < 0,03$  można przyjąć  $(1 + \eta_p) \alpha_0 = 1,86$ ,
- $\alpha_0$  — współczynnik Boussinesq'a,
- $v_p$  — średnia prędkość przepływu w najdalszym od studni przekroju rury perforowanej, m/s,
- $v$  — średnia prędkość przepływu w przekroju pełnościennego odcinka zbieracza, m/s,
- $m$  — współczynnik charakteryzujący rozmieszczenie jednostkowych dopływów bocznych wzdłuż perforowanej rury; przy równomiernym rozmieszczeniu dopływów  $m = 1$ ,
- $\lambda_0$  — współczynnik oporów liniowych w rurze pełnościennej w strefie ruchu burzliwego,
- $\lambda_p$  — współczynnik oporów liniowych w rurze perforowanej w strefie ruchu burzliwego.

Według Siwonia [2] współczynnik  $\lambda_p$  w hydraulicznie gładkiej rurze perforowanej otworami okrągłymi może być rozdzielony na dwa rodzaje oporów:  $\lambda_t$  i  $\lambda_{ot}$ . Wtedy:

$$\lambda_p = \lambda_t + \lambda_{ot} \quad (4)$$

$$\lambda_{ot} = 0,0106 \cdot \varphi^{0,413} \quad (5)$$

$$\lambda_t = 0,11 \left( \frac{k_z}{D_w} + 0,282 \varphi^{2,4} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (6)$$

gdzie:

- $\lambda_{ot}$  — zastępczy współczynnik tarcia wywołany perforacją rury,
- $\lambda_t$  — wyodrębniony współczynnik tarcia wywołany podstawową chropowatością ścianki perforowanej rury, może być teoretycznie określony jako współczynnik tarcia rur pełnościennych o takiej samej chropowatości ścianek.

Według Kotowskiego [1] współczynnik oporów hydraulicznych rur perforowanych  $\lambda_p$  dla przepływu laminarnego wynosi:

$$\lambda_p = 0,0203 \varphi^{0,83} + \frac{64}{Re} \quad (7)$$

a dla przepływu burzliwego:

$$\lambda_p = 0,0203 \varphi^{0,83} + \lambda_t \quad (8)$$

w którym:

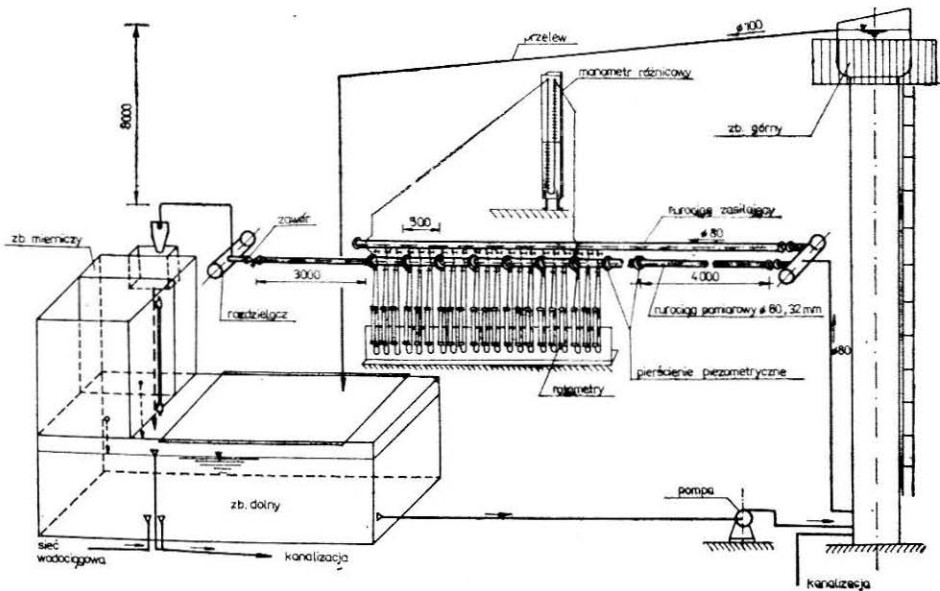


$$\frac{1}{\sqrt{\lambda t}} = - 2 \cdot \lg \frac{5,28}{Re^{0,89}} + 0,269 \left( 1,56 \varphi^{2,9} + \frac{k_z}{D_w} \right) \quad (9)$$

gdzie  $k_z$  jest zastępczą chropowatością piaskową wg Nikuradsego.

Wzory (1) — (9) podane przez Siwonía i Kotowskiego mogą być stosowane tylko do takich rodzajów rur, jakie użyli oni do badań i do analogicznego rodzaju perforacji oraz sposobu rozmieszczenia otworów (Siwoń — rury hydraulicznie gładkie z PCV, perforacja okrągła, otwory rozmieszczone w szachownicę tak, że linie łączące środki otworów tworzą trójkąty równoboczne, stopień perforacji  $\varphi=0,7\%$ ,  $3,0\%$ ,  $12,6\%$ ; Kotowski — rury mosiężne, perforacja okrągła, różne warianty rozmieszczenia otworów w szachownicę,  $\varphi=5,0\%$ ,  $10\%$ ,  $19,9\%$ ).

Do budowy promienistych ujęć używa się obecnie rur stalowych o perforacji szczelinowej. Perforacja ta umożliwiła uzyskiwanie dużego stopnia przepuszczalności ścianek. W dotychczasowej literaturze nie znane są badania, które umożliwiłyby wyznaczenie oporów hydraulicznych podczas przepływu wody przez szczelinowo perforowane rury stalowe. W celu przeprowadzenia takich badań wykonano specjalne stanowisko doświadczalne przedstawione na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat stanowiska doświadczalnego

Badania mają na celu:

- a) wyznaczenie współczynnika tarcia  $\lambda_0$  dla pełnościennej rury stalowej jako funkcji liczby Reynoldsa i chropowatości ścianki  $k$ ,
- b) określenie zależności funkcyjnej współczynnika oporów liniowych w rurze perforowanej szczelinowo  $\lambda_{ps}$  od stopnia przepuszczalności ścianek i parametrów określających wymiary i rozmieszczenie szczelin,
- c) porównanie otrzymanych wartości z opublikowanymi przez Siwonia [2] i Kotowskiego [1] wynikami badań rur z PCV i mosiężnych o perforacji okrągłej.

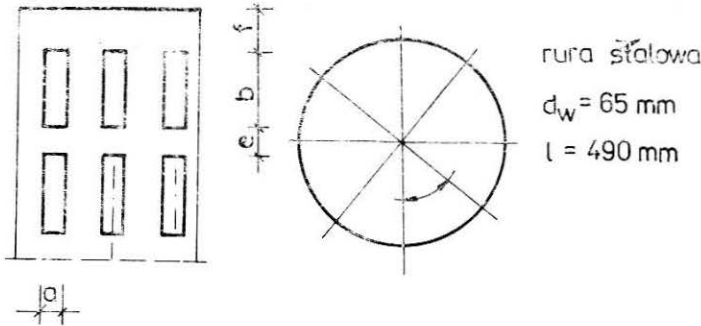
W celu zrealizowania przedstawionego zakresu badań wykonano stanowisko doświadczalne (rysunek 2) składające się z następujących elementów: zbiornik górny wody umieszczony na wieży, zbiornik dolny, pompa, układ pomiarowy i zbiornik mierniczy do wolumetrycznego pomiaru natężenia przepływu wody. Układ pomiarowy zawiera czterometrowy wymienny odcinek pomiarowy rury złożony z 8 wymiennalnych części, każda o długości 490 mm i średnicy 65 mm. Każda część odcinka pomiarowego umieszczona jest w stalowej rurze okładzinowej  $D_w = 125$  mm i długości 460 mm. Połączenia części wykonane są za pomocą kołnierzy, między którymi umieszczono komory piezometryczne (możliwość odbioru ciśnienia piezometrycznego w odstępach co 0,5 m). Na końcu układu pomiarowego umieszczono zawór do regulacji natężenia przepływu wody, rozdzielacz wody i urządzenie przerzutowe, którym woda kierowana jest do dwukomorowego zbiornika mierniczego o pojemności 1,3 m<sup>3</sup>, bądź do zbiornika dolnego. Po dokonaniu pomiaru woda z tego zbiornika będzie kierowana do zbiornika dolnego, a następnie będzie przepompowywana do zbiornika górnego przy pomocy pomp obiegowych. W celu usunięcia nadmiaru żelaza z wody wodociągowej zamontowano na rurociągu zasilającym odżelaziacz ciśnieniowy obniżający o 50% zawartość żelaza w wodzie z sieci miejskiej. Po zakończeniu serii pomiarów zdemontuje się wymienny odcinek rurociągu pomiarowego, zastępując go odcinkiem o innej perforacji. Przewidziano wstępnie 15 wariantów perforacji szczelinowej (tabela), zmieniając w nich stopień przepuszczalności ścianek  $\varphi$ , powierzchnię szczeliny  $A$  i stosunek długości boków  $a/b$ .

Program badań obejmować będzie następujące etapy:

1. pomiary spadku ciśnień piezometrycznych rury pełnościennej,
2. pomiary spadku ciśnienia piezometrycznego przy stałych natężeniach przepływu na długości odcinka pomiarowego dla rur bez i z dodatkową polietylenową osłoną szczelin,
3. pomiary spadku ciśnienia piezometrycznego przy dyskretnie zmienianym natężeniu przepływu na długości odcinka pomiarowego, wywo-



ZESTAWIENIE SPOSOBU PERFORACJI RUR



lp	a mm	b mm	A mm <sup>2</sup>	$\frac{a}{b}$	$\angle$	rzędy poziome	e mm	f mm	% $\gamma$
1	2.8	42.4	118.72	$\frac{1}{15}$	120	8	15.1	22.55	3.03
2	3.5	35.0	122.50	$\frac{1}{10}$	120	8	22.5	26.25	3.13
3	4.9	24.5	120.05	$\frac{1}{5}$	120	8	33.0	31.50	3.07
4	2.5	36.5	91.25	$\frac{1}{15}$	120	11	4.5	21.75	3.21
5	3.0	30.0	90.00	$\frac{1}{10}$	120	11	11.0	25.00	3.16
6	4.2	21.2	89.04	$\frac{1}{5}$	120	11	19.8	29.40	3.13
7	2.8	42.4	118.72	$\frac{1}{15}$	30	8	15.1	22.55	12.13
8	3.5	35.0	122.50	$\frac{1}{10}$	30	8	22.5	26.25	12.52
9	4.9	24.5	120.05	$\frac{1}{5}$	30	8	33.0	31.50	12.27
10	2.5	36.5	91.25	$\frac{1}{15}$	30	11	4.5	21.75	12.82
11	3.0	30.0	90.00	$\frac{1}{10}$	30	11	11.0	25.00	12.65
12	4.2	21.2	89.04	$\frac{1}{5}$	30	11	19.8	29.40	12.51
13	2.5	36.5	91.25	$\frac{1}{15}$	20	11	4.5	21.75	19.23
14	3.0	30.0	90.00	$\frac{1}{10}$	20	11	11.0	25.00	18.97
15	4.2	21.2	89.04	$\frac{1}{5}$	20	11	19.8	29.40	18.77

Rys. 3. Schemat blokowy segmentu „Budowa macierzy”

łanym bocznym dopływem wzdłuż drogi głównego strumienia cieczy dla różnych etapów rozkładu wielkości natężeń dopływów bocznych.

## LITERATURA

- [1] K o t o w s k i A. — *Badanie modelowe wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych infiltracyjnych ujęć promienistych na ich wydajność*. Praca doktorska, Politechnika Wroclawska, 1980 r.
- [2] S i w o Ń Z. — *Burzliwe przepływy cieczy w rurach perforowanych w warunkach nieciągłej zmiany masy strumienia*. Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wroclawskiej nr 33, Seria: Monografie nr 10, Wroclaw 1976 r.